

IV-32 アルミニウム合金バルタモア構橋に関する研究

室蘭工業大学 正會員 中村作太郎

I. アルミニウム合金構橋の設計

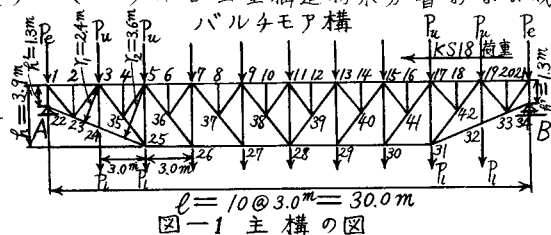
支間 30 m の KS-18 荷重を受けける鉄道橋を設計するに当り アルミニウム合金材を用い、種々型式を比較研究して見た。アルミニウム合金のヤング係数は、鋼の $\frac{1}{2.9}$ 、すなわち、 $724,000 \frac{kg}{cm^2}$ であつて、振動の割合に多い鉄道橋としては、その撓みを小にするために、構を採用し、特に応力並びに經濟上の点を考慮して、バルタモア構を選んだ。

(1) 設計事項

荷重：KS-18 支間：30.0 m 構高：3.9 m 主構中心間隔：2.5 m 型式：單線上路式バルタモア構橋 材料：アルミニウム合金 14S-T6 (米國材料試験協會 (ASTM) の規格 B221-49T (CS41), B211-49T (CS41) および、B209-49T (Clad CS41) で定められており、型材として用いる) Alclad 14S-T6 および R301-T6 (板材用) A17S-T3 (冷間圧力締め鍛材用)、61S-T43 (熱間打鍛材用 532~565°C) など、接合方法：アルミニウム合金鉄接合、設計示方書：米國土木學會高強度アルミニウム合金重構造物示方書および我國における鋼鉄道橋設計示方書、を採用した。

(2) 主構 (バルタモア構) の応力

圖-1 のごときバルタモア構について応力計算を行つた。



i) 死荷重による格点荷重

全自重を約 25 t と假定すると 1 格点当りの荷重は、 $25 \text{ t} \div 20 = 1.250 \text{ t}$ 中間床桁および縦桁、軌道による格点荷重は 1.450 t、端床桁および縦桁による支点上格点荷重は、0.160 t、端格点における主構重量は、 $1.25 \div 2 = 0.625 \text{ t}$ 、結局、中間上弦格点 $P_u = 1.800 \text{ t}$ 、中間下弦格点 $P_L = 0.900 \text{ t}$ 、 $P_u + P_L = 2.700 \text{ t}$ 、端格点 $P_e = 0.625 + 0.160 + 0.450 = 1.235 \text{ t}$

ii) 死荷重応力

$R_A = R_B = \frac{1}{2} \Sigma P = 13.385 \text{ t}$ 圖-1 のごとき載荷状態における部材の応力は表-1 参照

iii) 活荷重応力

KS-18 なる荷重が通過した際の部材応力の影響線を画いて計算せる結果を表-1 に示す

iv) 衝撃応力

衝撃係数は、鋼鉄道橋設計示方書第 7 條に準據して求めれば次のごとくなる。

上弦材 下弦材 $\dots\dots\dots \iota = \frac{45}{45+30} = 0.6$ 鉛直材 斜補剛材、鉛直補剛材 $\dots\dots\dots \iota = \frac{45}{45+25} = 0.75$ 端支柱、斜材 $\dots\dots\dots \iota = \frac{45}{45+0.75 \times 30} = 0.67$ 部材応力は表-1 参照

v) 部材応力計算表

死荷重応力 S_d 、活荷重応力 S_l 、衝撃応力 S_i 、合成応力 S_r などを表に纏めれば次のごとくである。(表-1 参照)

注、表-1 に於て (+) ----- 引張力 (-) ----- 圧縮力 を示す。

表-1 構部材応力表

部材名	引張力 (kg)	圧縮力 (kg)	合成力 (kg)	部材長 (cm)	部材名	引張力 (kg)	圧縮力 (kg)	合成力 (kg)	部材長 (cm)
鉛直材	1-22 21-34	S_s S_s	S_r $-14,270$	130	下弦材	22-24 32-34	S_s S_s	S_r $+14,980$	308
	3-24 19-32	S_s S_s	S_r $-74,980$	260		24-25 31-32	S_s S_s	S_r $+160,120$	308
	5-25 17-31	S_s S_s	S_r $-109,050$	390		25-26 30-31	S_s S_s	S_r $+134,670$	300
	7-26 15-30	S_s S_s	S_r $-80,060$	390		26-27 29-30	S_s S_s	S_r $+208,980$	300
	9-27 13-29	S_s S_s	S_r $-58,230$	390		27-28 28-29	S_s S_s	S_r $+187,440$	300
	11-28	S_s	S_r $-41,110$	390	鉛直補剛材	4-35 18-42	S_s S_s	S_r $-22,800$	195
	3-25 19-31	S_s S_s	S_r $+124,320$	492		6-36 16-41	S_s S_s	S_r $-22,800$	195
	5-26 17-30	S_s S_s	S_r $+102,790$	492		8-37 14-40	S_s S_s	S_r $-22,800$	195
	7-27 15-29	S_s S_s	S_r $+76,320$	492		10-38 12-39	S_s S_s	S_r $-22,800$	195
	9-28 13-28	S_s S_s	S_r $+56,790$	492		2-23 20-33	S_s S_s	S_r $-22,800$	195
上弦材	1-3 19-21	S_s S_s	S_r $-89,600$	300		5-35 17-42	S_s S_s	S_r $+14,380$	246
	3-5 17-19	S_s S_s	S_r $-156,510$	300	鉛直補剛材	7-36 15-41	S_s S_s	S_r $+14,380$	246
	5-7 15-17	S_s S_s	S_r $-179,110$	300		9-37 13-40	S_s S_s	S_r $+14,380$	246
	7-9 13-15	S_s S_s	S_r $-212,500$	300		11-38 11-39	S_s S_s	S_r $+14,380$	246
	9-11 11-13	S_s S_s	S_r $-225,160$	300		1-23 21-33	S_s S_s	S_r $+14,380$	246
						3-23 19-23	S_s S_s	S_r $+14,380$	246

(3) 横構の応力

i). 上横構

圖-2 において、横荷重 $w=300+600=900 \text{ kg/m}$ として部材応力を計算すれば次のごとく

3. (表-2 参照)

ii). 下横構

圖-3 において、横荷重 $w=300 \text{ kg/m}$ の等分布荷重が全支間にかかるものとする。部材応力は次表のごとくなる。(表-3 参照)

(4) 主構の撓み

主構の各部材について、活荷重、衝撃荷重、死荷重による合成応力 S_r (kg), $P=1$ による応力 S , 弾性係数 E (kg/cm^2)、部材長 l (cm)、断面積 A (cm^2) などを計算し、更に、温度変化による変長 $\Delta S' = \alpha \cdot l \cdot t$ ($\alpha = 0.0000216$, $t = 80^\circ\text{C}$)、応力による変長 $\Delta S'' = \frac{S \cdot l}{EA}$ を計算し、構の中央点の最大撓みを計算すれば、 $f_{\max} = \sum S \cdot \Delta S = 9.89972 \text{ cm}$ (ここに $\Delta S = \Delta S' + \Delta S''$, $E = 724,000 \text{ kg/cm}^2$ とする)

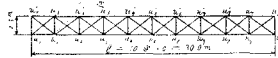


圖-2 上横構の図

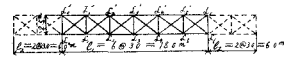


圖-3 下横構の図

表-2 上横構部材応力表 (片側荷重)

部材名	応力 (kg)	部材名	応力 (kg)	部材名	応力 (kg)	部材名	応力 (kg)
上弦材	$U_1 U_1$ -14,580	下弦材	$U_2 U_1$ +16,200	鉛直材	$U_3 U_1$ -13,500	斜材	$U_4 U_1$ +7,776
	$U_1 U_2$ -27,000		$U_1 U_2$ +14,580		$U_1 U_2$ -12,150		$U_2 U_1$ +5,875
	$U_2 U_1$ -33,075		$U_2 U_2$ +27,000		$U_2 U_1$ -9,504		$U_3 U_1$ +4,311
	$U_1 U_3$ -38,880		$U_3 U_1$ +33,075		$U_3 U_2$ -6,912		$U_1 U_2$ +2,540
	$U_1 U_4$ -40,500		$U_4 U_1$ +38,880		$U_4 U_1$ -4,131		$U_5 U_1$ +415
					$U_5 U_1$ -2,700		

注 引張力(+), 圧縮力(-), 横荷重が反対のときは上下弦材応力は逆になる。

表-3 下横構部材応力表 (片側荷重)

部材名	応力 (kg)	部材名	応力 (kg)	部材名	応力 (kg)	部材名	応力 (kg)
上弦材	$L_1 L_1$ -4,870	下弦材	$L_1 L_1$ +5,830	鉛直材	$L_1 L_1$ -4,870	斜材	$L_1 L_1$ +6,320
	$L_1 L_2$ -7,530		$L_1 L_2$ +4,870		$L_1 L_2$ -4,050		$L_1 L_2$ +3,300
	$L_2 L_1$ -17,500		$L_2 L_1$ +17,500		$L_2 L_2$ -2,550		$L_2 L_2$ +1,890
					$L_3 L_1$ -1,620		

注 引張力(+), 圧縮力(-), 横荷重反対のときは上下弦材応力は逆になる。

(5) 主構の反り (圖-4参照)

$$\text{反りの曲率半径 } R = \left(\frac{d_0^2}{4} - d_0^2 \right) \frac{1}{2d_0} = \left(\frac{30^2}{4} - 0.098997^2 \right) \times \frac{1}{2 \times 0.098997} = 11364.4757 \text{ m}$$

$$d_1 = d_0 - \left(R - \sqrt{R^2 - (np)^2} \right) = 0.098997 - \left\{ 11364.4757 - \sqrt{11364.4757^2 - (1 \times 3)^2} \right\} = 0.098997 \text{ m}$$

同様に $d_2 = 0.097787 \text{ m}$, $d_3 = 0.095627 \text{ m}$, $d_4 = 0.092857 \text{ m}$, $d_5 = 0$

部材長は、荷重が通過する際、撓みが0になるよう、反りを付けるため部材長は少し異なってくる。すなわち、上弦材

$$L_U = 3.0 \text{ m}, \text{ 下弦材 } L_L = \left(1 - \frac{f}{R} \right) L_U = \left(1 - \frac{3.9}{11364.4757} \right) \times 3.0$$

$$= 2.99897 \text{ m}, \text{ 斜材 } L_D = \sqrt{\lambda_U \lambda_L + f^2} = \sqrt{3 \times 2.99897 + 3.9^2} = 4.92005 \text{ m}$$

(6) バルチモア構桁橋設計圖

アルミニウム合金のバルチモア型構桁橋の設計圖を示せば、圖-5, 6のごとくである。

II. アルミニウム橋設計に用いる
高強度アルミニウム合金14S-T6, A17S-T3, 61S-T43, Alclad 14S-T6
などの諸性質

(1) 14S-T6の化学成分

銅……4.4% 珪素……0.8%, マンガン……0.8%, マグネシウム……0.4%, アルミニウム……93.6%

(2) 14S-T6の物理的性質

表-5 14S-T6の物理的性質

引張強度……4,200 ^a ~4,900 kg/cm ²	伸 び……9~13%
剛性係数……280,000 kg/cm ²	ヤング係数……724,000 kg/cm ²
降伏強度……3,700 ^a ~4,200 kg/cm ²	重 量……2,900 kg/m ³
ポアソン比……1/3	ブリネル硬度……120~130
剪断強度……2,900 ^a kg/cm ²	温度膨張係数……0.000 ^a 216/°C

注 * A S C E 示方書の規格最小値

(3) リベット用アルミニウム合金の強度

表-6 リベット用 A17S-T3, 61S-T43の強度

リベット打前の材質名	リベット打後の材質名	リベット打後の剪断強度代表値
A17S-T4	冷 間	A17S-T3
61S-T4	532~565°C	61S-T43
		2,300
		1,700

* リベット打後の極限剪断強度代表値 (kg/cm²)

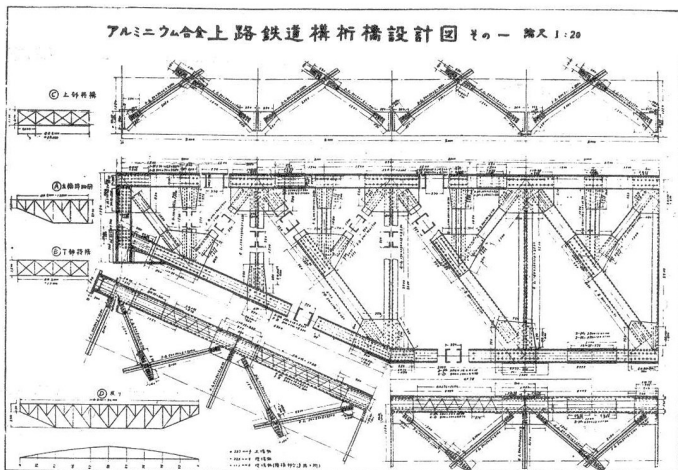


図-5 アルミニウム合金バルチモア構桁橋の主構其他設計圖

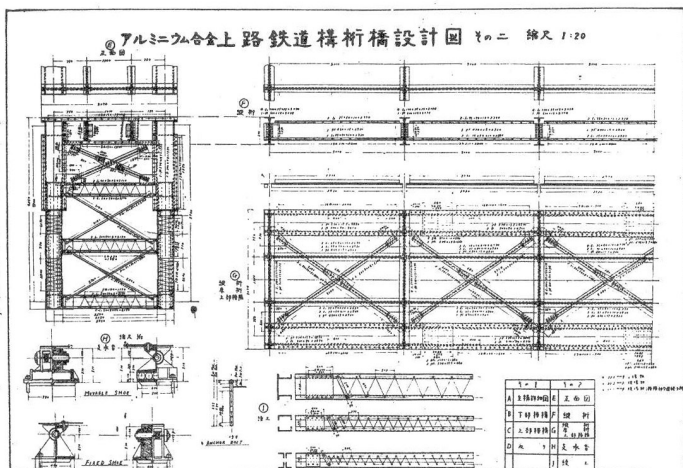


図-6 アルミニウム合金バルチモア構桁橋正面、床組、其他設計圖

(4) 許容応力

次にあげる許容応力は、リベットとボルトに対するものを除き、すべて14S-T6を対象としている。i). 軸方向引張応力 1,550 kg/cm² ii). 曲げを受ける形材 桁および集成断面の縁引張応力 1,550 kg/cm² iii). 軸方向圧縮応力* iv). 曲げを受ける形材 桁および集成断面の縁圧縮応力* v). 板、突出脚およびウェブの圧縮応力* vi). ヒ

シの曲げ応力 $2,400 \text{ kg/cm}^2$ Vii) 板およびウエップの剪断応力 * Viii) A17S-T3 冷間打ちリベットの剪断応力 700 kg/cm^2 ix) 61S-T43 熱間打ちリベットの剪断応力 560 kg/cm^2 X) 24S-T4 仕上げボルト 840 kg/cm^2 Xi) ピンの剪断応力 $1,120 \text{ kg/cm}^2$ Xii) ピンの支圧応力 $2,100 \text{ kg/cm}^2$ Xiii) 冷間打ちまたは熱間打ちリベット、補剛材、リーミングした穴における仕上げボルト、その他密接部分における支圧応力 $2,500 \text{ kg/cm}^2$ 注. * 米国土木学会、高強度アルミニウム合金重構造物示方書参照。

Ⅲ 鋼鉄桁橋との設計比較

単線上路鉄桁鉄道橋に於て、荷重：KS-18、支間：30.00m、主桁中心間隔：1.80m、主桁高：2.48m、材料：鋼SS41、SV34など、設計示方書：日本国有鉄道の鋼鉄道橋設計示方書、によつて設計せる鋼鉄桁橋と上述のアルミ合金構橋を比較して見れば次の如くである。

(1) 重量比較

アルミ合金構桁橋 主構---15.828t 横構その他---5.191t 鉄---1.425t 計 22.444t

鋼鉄桁橋 主構---63.213t 横構その他---3.075t 鉄---1.183t 計 67.571t

重量比： $\frac{\text{アルミ合金構}}{\text{鋼鉄桁}} = \frac{22.444}{67.571} = 0.332$

(2) 工費比較

工費を比較して見れば、次

表のごとくなる。(表-7参照)

こつ外、支承および支承付

表-7 総工費比較表

種 別	アルミニウム 合金構桁橋 (円)	鋼鉄桁橋 (円)
運 送 費	12,000	24,000
材 料 費	8,847,800	5,482,800
製作労務費	655,200	668,800
計	9,015,000	6,175,100

$$\frac{\text{アルミ合金構}}{\text{鋼鉄桁}} : \left\{ \begin{array}{l} \text{材料費比率} = \frac{8,847,825}{5,482,255} = 1.523 \\ \text{労務費比率} = \frac{655,200}{668,800} = 0.980 \\ \text{総工費比率} = \frac{9,015,000}{6,175,100} = 1.460 \end{array} \right.$$

属品が加算され、また下部構造の費用も加えられる。橋台は、死荷重の程度、支承の違いなどによつて異なつてくると考えられるが、大した相違はないと思う。支承は、アルミニウム合金構橋では鑄鉄製のものが有利である。

Ⅳ. 撓みと衝撃係数について

橋にとつて、アルミニウム合金の欠点の一つは、その強度が鋼と同程度あるいはそれ以上であるが、弾性係数Eが鋼の約 $\frac{1}{2.9}$ の $72,000 \text{ kg/cm}^2$ なることである。Eが小なるため、部材の変形、橋の撓み、振動性が増大し、圧縮材の長柱としての強度が小さくなる。また挫屈に対しても充分考慮を必要とする。いま、鋼鉄桁橋とアルミニウム合金バルタモア構橋の撓みを比較して見ると、合成荷重による最大撓みは、鋼鉄桁橋で、 $\delta_s = 3.8527 \text{ cm}$ なるに対し、アルミニウム合金構桁橋では、 $\delta_A = \Sigma S \cdot \Delta S = 7.8777 \text{ cm}$ となり、その比 $\frac{\delta_A}{\delta_s} = \frac{7.8777}{3.8527} = 2.370$ となる。もし、アルミニウム合金構桁橋の弾性係数Eを $2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ を用い、鋼構桁橋としての最大撓みを同様に求めると、 $\delta_s = \Sigma S \cdot \Delta S = 1.9388 \text{ cm}$ となり、その比 $\frac{\delta_A}{\delta_s} = \frac{7.8777}{1.9388} = 5.106$ が得られる。また、アルミニウム合金バルタモア構橋において、衝撃を含め活荷重、死荷重のみによる中央矢の撓みは、鋼構桁橋の撓みに関する規定の限度($\frac{\delta_A}{L} = \frac{1}{1000}$)を可成り超過するが、弾性係数の極めて小さいアルミニウム合金構桁橋に対し鋼構桁橋の規定をそのまま用いることは妥当でないと思う。衝撃係数についても同様の事が云えらる考へる。

Ⅴ 剛性の増加と二次応力について

アルミニウム合金よりなる本橋の剛性を増加するには、出来るだけ 格矢の接合を剛結接合に近づけ必要がある。然し、部材には二次応力も生ずるので筆者はこの研究も行つた。